



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Aspectos de controle tecnológico de aterros com base no critério da deformabilidade

Rafael Mecenas Paixão

São Cristóvão

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Trabalho de Conclusão de Curso

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Departamento de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Sergipe (UFS) como
um dos requisitos para obter a graduação em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. DSc. Erinaldo Hilário
Cavalcante

São Cristóvão

2018

Trabalho de Conclusão de Curso

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe (UFS) como um dos requisitos para obter a graduação em Engenharia Civil.

Aprovado em: //

BANCA EXAMINADORA:

Prof. DSc. Erinaldo Hilário Cavalcante – Universidade Federal de Sergipe
(Presidente – Orientador) **Nota:** _____

Prof. MSc. Carlos Rezende Cardoso Júnior
(2º Examinador) **Nota:** _____

Prof. MSc. Demóstenes Cavalcante Júnior
(1º Examinador) **Nota:** _____

RESUMO

O presente trabalho aborda métodos de controle tecnológicos empregados na construção de aterros, culminando com uma técnica pouco comum nas obras de terra brasileiras, o qual é baseado no critério da deformabilidade do maciço compactado. Para o desenvolvimento do trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os métodos de controle tecnológico de solos compactados à luz da metodologia tradicional, e, em seguida, fez um detalhamento do método de controle que leva em consideração o módulo de elasticidade do solo, a partir de dados de prova de carga com ciclos de descarregamento-recarregamento. Para tanto, foi aproveitado um caso de obra, um aterro executado numa das áreas do Complexo Termelétrico de Sergipe, a Usina Termoelétrica 1, localizada no município da Barra dos Coqueiros, próximo ao Parque Eólico da região, onde foram executadas 09 (nove) provas de carga sobre placa. A metodologia parte do cálculo dos módulos de deformabilidade do primeiro e do segundo ciclos de carregamento, como, denominados EV1 e EV2, respectivamente. A relação entre ambos resulta no parâmetro Kev, que, segundo a NORMA DNIT 410/2017 para garantir que o solo foi satisfatoriamente compactação, deve atingir valores de $Kev = EV2/EV1 \geq 2$. De acordo com a norma alemã DIN 18134/2012, essa relação para fins de aterro de fundação deve ser $\leq 2,2$. Para o presente estudo de caso realizado, o aterro de brita graduada testado estava com grau de compactação médio da ordem de 100% ou mais, e teor de umidade ótimo igual a 12,1 %, e umidade de campo de 12,4%. De acordo com os valores dos módulos de deformabilidade obtidos, a média da relação Kev ficou em 2,7, com deslocamento final máximo igual a 2,9 milímetros, o que representa um recalque relativamente pequeno para uma obra de fundação superficial.

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
1.1 Importância do tema.....	7
1.2 Objetivo.....	8
1.2.1 Geral.....	8
1.2.2 Específicos.....	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1 Parâmetros de controle tecnológicos de aterros.....	8
2.2 Ensaios realizados em laboratório.....	8
2.2.1 Ensaio de Granulometria.....	9
2.2.2 Massa Específica Real dos Solos –(NBR 6508/1984).....	13
2.2.3 Limite de liquidez.....	13
2.2.4 Limite de Plasticidade.....	14
2.2.5 Índice de Plasticidade.....	15
2.2.6 Ensaio de Compactação.....	15
2.3 Compactação do solo.....	18
2.3.1 Compactação no campo.....	19
2.4 Ensaios de Campo.....	20
2.4.1 Verificação da densidade “ <i>in situ</i> ” através do Frasco de Areia.....	20
2.4.1.1 Aparelhagem.....	21
2.4.2 Determinação da umidade de solos (Speedy).....	25
2.4.3 Prova de carga estática em placa, para controle de qualidade na execução de aterros solo-enrocamento.....	26
2.5 Equipamentos para execução de aterros.....	27
2.5.1 Trator esteira.....	27
2.5.2 Escavadeira hidráulica.....	28
2.5.3 Moto niveladora.....	28
2.5.4 Pá carregadeira de pneu.....	39
2.5.5 Placas Vibratórias e Placas Vibratórias Reversíveis.....	30
2.5.6 Compactadores de rolos pé-de-carneiro.....	30
2.5.7 Rolo Estático Liso.....	31
2.5.8 Rolo Pneumático.....	32

2.5.9 Caminhão Pipa.....	32
3 METODOLOGIA.....	33
3.1 Descrições da obra e estudos preliminares.....	33
3.2 Métodos.....	36
3.2.1 Execução do ensaio.....	37
4 APRESENTAÇÃO DA TERMOELETRICA E ANALISE DE RESULTADOS.....	42
4.1 Controles Tecnológicos Convencionais.....	42
4.2 Controle pelos Ensaio de provas de carga cíclicas.....	43
5 CONCLUSÕES.....	54
6 REFERENCIAS.....	55

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Importância do tema

Toda obra de engenharia necessita de adequada investigação geotécnica sobre os materiais envolvidos com a obra, desde o solo de fundação onde ela será executada aos materiais que comporão a superestrutura. No caso de aterros, o solo deve ser devidamente preparado para que possa ser materializado o projeto do empreendimento, quer seja uma barragem, um edifício, uma estrada, ou qualquer outra estrutura de solo compactado.

Serviços de terraplanagem são necessários, na execução de quase todas as obras de engenharia, a exemplo de estradas, barragens e demais obras de terra. Em todas essas obras, é necessário se dispor dos parâmetros geotécnicos referentes ao processo executivo. No caso específico de aterros, esses parâmetros são obtidos mediante a realização de ensaios de laboratório, começando com os ensaios de caracterização, onde são determinadas as propriedades índice dos solos, e, no caso de aterros compactados, concluindo-se com os ensaios de compactação.

Os ensaios de caracterização geotécnica, que se compõem dos limites de Atterberg (LL e LP), granulometria e densidade, permitem avaliar o enquadramento do solo para o fim desejado. O ensaio de compactação subsidiará o controle da compactação em campo, conhecendo-se o peso específico e o teor de umidade ótima, de laboratório. Durante a execução da obra deve ser realizado o controle tecnológico do maciço compactado, verificando-se a conformidade dos dados de campo com os parâmetros determinados em laboratório, normalmente com base no peso específico *in situ* e o teor de umidade obtido no campo.

Essa metodologia de controle tecnológico de aterros é antiga e tradicionalmente utilizada nas obras de terra. Entretanto, ainda não se sabe ao certo, qual é a avaliação que se faz acerca do comportamento tensão-deformação do maciço diante dos esforços atuantes, em comparação ao controle tecnológico realizado com base no grau de compactação e na comparação da umidade de compactação com o teor de umidade ótima.

É neste contexto que o presente trabalho de conclusão de curso se insere, buscando uma relação entre o módulo de deformabilidade do um aterro compactado e os dados de controle tecnológico realizado com base nos parâmetros tradicionais.

1.2 – Objetivo

1.2.1 - Geral

Analisar dados de provas de carga cíclicas realizadas para a obtenção do módulo de deformabilidade de maciços compactados e verificar a relação com os parâmetros obtidos de controle tecnológico tradicionalmente utilizado em obras de terraplenagem.

1.2.2 - Específicos

Fazer uma revisão da literatura sobre os métodos de controle tecnológico de aterros praticados no Brasil.

Verificar a existência de relações entre o módulo de deformabilidade de aterros obtidos em provas de carga sobre placa e o peso específico e teor de umidade do maciço.

Analisar a relação entre os módulos de deformabilidade do primeiro ciclo (EV_1) e do segundo ciclos (EV_2), obtidos do ensaio de placa com ciclos de descarregamento-recarregamento.

2 - REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS

2.1 - Parâmetros de controle tecnológicos de aterros

De forma conceitual, controle tecnológico é um conjunto de conceitos, métodos, formas, ferramentas e equipamentos que contribuem para a execução e acompanhamento de uma determinada atividade, contribuindo para o seu melhor desenvolvimento.

O uso desse controle deve ser realizado desde a etapa de planejamento até a fase de verificação final do serviço, com o intuito de garantir uma conformidade entre o projeto e a execução.

Na Geotecnia, os parâmetros de controle tecnológico de aterros são atribuídos a partir dos ensaios de solo, desde uma avaliação visual-táctil até os métodos de ensaios específicos realizados em laboratório, com a finalidade de se definir as características do material e as melhores condições de uso destes na obra diante das especificações vigentes.

2.2 - Ensaios realizados em laboratório

Os demais materiais de construção, no caso de obras de aterros o principal material é o solo, que antes de sua utilização em uma determinada obra, precisa ser analisado, tanto com base em ensaios de laboratório quanto em ensaios de *in situ*, a depender do tipo de obra. Para o caso de ensaios de laboratório, as amostras podem ser deformadas ou indeformadas, tendo-se em vista como a obra solicitará o solo. Quando se trata de aterros, as amostras são deformadas. No laboratório, a amostra é submetida aos ensaios de caracterização geotécnica, tais como granulometria, Limites de Atterberg e massa específica real e aparente. O ensaio de compactação, realizado na energia do Proctor que se deseja aplicar em campo é fundamental para definir o controle tecnológico do aterro quando compactado. Em função da complexidade da obra, ensaios de resistência e deformabilidade podem ser também realizados. A seguir são descritos os ensaios geotécnicos empregados em obras de terra.

2.2.1 - Ensaio de Granulometria

Em qualquer obra é necessário se caracterizar inicialmente o solo a ser utilizado de maneira compactada. Neste caso, é fundamental classificar o solo de acordo com a sua distribuição granulométrica, ou seja, conforme o tamanho dos grãos. Portanto, trata-se de um processo utilizado para determinar o percentual, em massa, que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada, de acordo com as especificações da NBR 7181/2016 (versão corrigida 2017). O ensaio é realizado por peneiramento, para as frações mais grossas do solo, e por sedimentação, para as frações que passam na peneira nº 200 (0,075 mm). Assim, a análise granulométrica de um solo pode ser feita apenas por peneiramento, por sedimentação ou por ambos.

Conforme mencionado por Pinto (2006), o objetivo da classificação dos solos, sob o ponto de vista da engenharia, é o de “poder estimular o provável comportamento do solo, ou pelo menos orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema”.

Com base nos resultados obtidos do ensaio de granulometria, é possível a construção de uma curva granulométrica, indispensável para a classificação dos solos.

De acordo com o tamanho dos grãos o solo pode ser classificado, conforme diretrizes da NBR 6502/1995. A Tabela 1 mostra como os solos brasileiros podem ser nomeados em função do tamanho do diâmetro das partículas.

Classificação	Diâmetro do grão
Argila	$d < 0,002\text{mm}$
Silte	$0,002\text{mm} < d < 0,06\text{mm}$
Areia fina	$0,06\text{mm} < d < 0,2\text{mm}$
Areia media	$0,2\text{mm} < d < 0,6\text{mm}$
Areia grossa	$0,6\text{mm} < d < 2,0\text{mm}$
Granulo	$2,0\text{mm} < d < 60,0\text{mm}$
Seixo	$60,0\text{mm} < d < 200\text{mm}$
Matacão	$200\text{mm} < d < 1000\text{mm}$

Tabela 1 – Classificação dos grãos.

Fonte: Adaptada da NBR7181

Segundo a NBR 7217:1987, as peneiras que são utilizadas nesse ensaio variam de acordo com sua abertura, sendo elas divididas em dois grupos, série normal e intermediária como mostra a tabela 2.

Série normal	Série intermediária
76 mm	-
-	64 mm
-	50 mm
38 mm	-
-	32 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,8 mm	-
2,4 mm	-
1,2 mm	-
0,600 mm	-
0,300 mm	-
0,150 mm	-

Tabela 2 – Abertura das peneiras (NBR 7217:1987)

As peneiras são bem parecidas variando apenas as aberturas de acordo com o tipo de peneira, como mostra a figura 1.



Figura 1- Peneiras utilizadas no ensaio (Acervo pessoal, 2018)

A curva granulométrica, como mostra a figura 2, é uma representação gráfica da distribuição granulométrica de um solo, onde a abscissa é o tamanho das partículas, crescente para a direita, em escala logarítmica, e a ordenada é a percentagem acumulada do solo seco em relação à massa total seca, com diâmetro menor que o tamanho correspondente (NBR 6502/95).

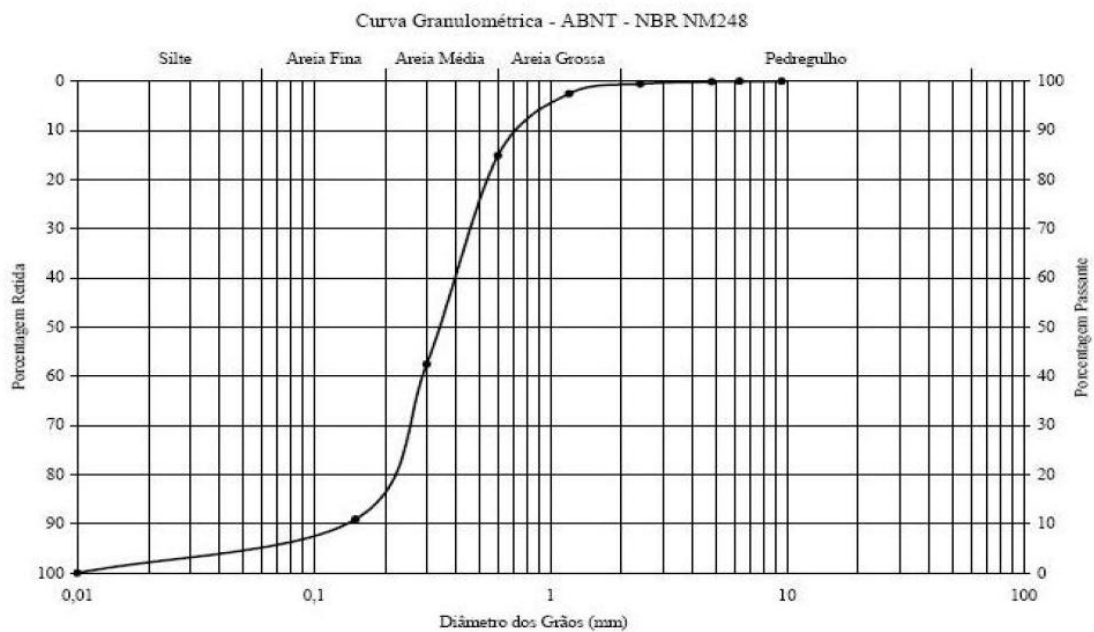


Figura 2 - Curva Granulométrica (NBR NM248).

O ensaio de granulometria é utilizado para classificar os solos, para isso determinar o tamanho de seus grãos é fundamental, pois assim pode-se identificar sua distribuição granulométrica e concluir se o solo é bem graduado, ou seja, com diversos diâmetros de grãos que apresenta um bom comportamento no ponto de vista da engenharia, tendo em vista que as partículas menores ocupam os vazios deixados pelas das maiores, apresentando assim uma vantagem na realização de uma boa compactação desse solo, para uso em aterros, rodovias, barragens, entre outras aplicações.

Se o solo é mal graduado, significa dizer que este possui uma granulometria descontínua ou aberta, o qual possui insuficiência de grãos finos para preencher os vazios deixados pelas partículas maiores. Isso causa dificuldade de aplicação em um aterro, por exemplo, pois, necessitaria de adição de finos para melhorar esse solo. Ou ainda, se é um solo de granulometria uniforme, neste predomina partículas com o mesmo diâmetro, o que não é interessante em aterros compactados.

Apesar de limitado, visto que o comportamento do solo não depende apenas do tamanho dos seus grãos, o ensaio de granulometria é essencial, pois funciona como parâmetro básico para outros ensaios.

2.2.2 - Massa Específica Real dos Solos –(NBR 6508/1984)

Esse ensaio tem o objetivo de determinar a massa específica das partículas do solo. Refere-se ao volume de sólidos de uma amostra de solo, sem levar em conta a sua porosidade, uma vez que a norma estabelece para realizar esse ensaio o uso da massa de solo que passa na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica (ABNT, 1984b).

A massa específica real do solo corresponde à massa dos grãos presentes no solo, desconsiderando os vazios, ela é fundamental para o cálculo de índice de vazios, massa específica, umidade e demais índices físicos do solo.

2.2.3 - Limite de liquidez

Ao adicionar-se água a um solo, este pode passar do estado sólido, estando seco, para o estado fluido, com teor de umidade muito elevado. Considera-se limite de liquidez (LL) uma propriedade índice de um solo, que corresponde ao teor de umidade que demarca a passagem do estado plástico para o estado líquido, refletindo a relação com a capacidade do solo de absorver água. Esse indicador pode ser obtido através do ensaio realizado na “concha” de Casagrande (ver Fig. 3), conforme o enunciado da NBR-6459/ABNT - Determinação do Limite de Liquidez de Solos.

De forma experimental o ensaio realizado na concha de Casagrande, compreende em verificar o teor de umidade com que o solo fecha certa ranhura sob o impacto de 25 golpes do aparelho de Casagrande (NBR-6459/1984).



Figura 3 - Concha do aparelho de Casagrande (Acervo pessoal, 2018).

A figura 4 mostra o resultado de um ensaio de LL, com a umidade relacionada aos 25 golpes necessários para fechar a ranhura como especifica a NBR-6459/1984.

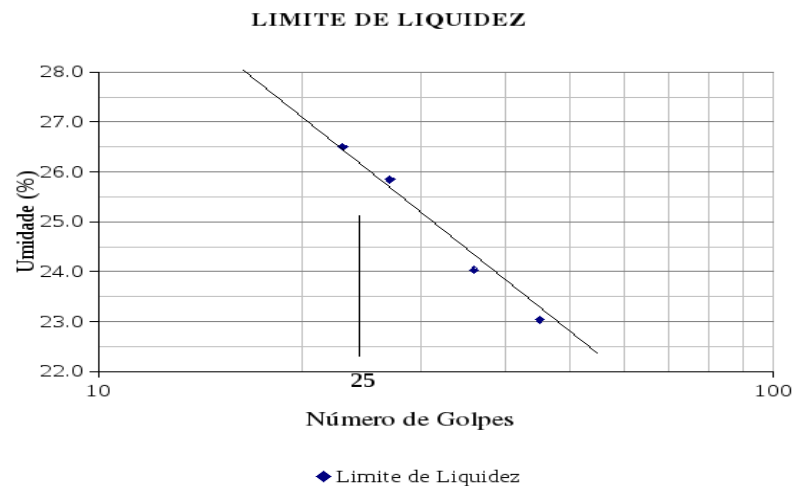


Figura 4 – Limite de liquidez (LIMA, 2017).

2.2.4 - Limite de Plasticidade

Realizando-se esse ensaio, define-se o teor de umidade para o qual o solo deixa de ser plástico, e torna-se quebradiço, frágil (passagem do estado plástico para o estado sólido), cujo teor de umidade é considerado o limite de plasticidade do solo (LP). O ensaio consiste, basicamente, em se moldar um cilindro de solo sob um determinado teor de umidade e determinar, a partir de movimentos com a mão rolando o cilindro de solo sobre uma placa de vidro, determinar a umidade do solo, quando a amostra começa fraturar ao ser manuseada. Para realizar o ensaio, emprega-se a norma NBR-7180/1984 Solo - Determinação do limite de plasticidade.

Segundo Atterberg a condição para que uma amostra de solo esteja no estado plástico é a possibilidade de com ela ser possível moldar um cilindro de 10 cm de comprimento por 3 mm de diâmetro, moldado a mão por rolagem sobre uma placa de vidro(ver figura 5).



Figura 5 – verificação com o gabarito do ensaio de LP (LABGEO, 2018).

2.2.5 - Índice de Plasticidade

Esse parâmetro indicador do tipo de solo, obtido pela diferença entre o Limite de liquidez e o Limite de plasticidade, é denominado Índice de Plasticidade ($IP = LL - LP$), tem a finalidade de delimitar a fronteira de umidade em que solo passa do estado líquido para o estado plástico.

2.2.6 - Ensaio de Compactação

O ensaio de compactação, também considerado ensaio Proctor, tem o objetivo de determinar a relação entre o peso específico aparente e o teor de umidade de um solo, sob determinada energia de compactação, quando a fração de solo que passa na peneira de 19 mm é compactada. Geralmente usa-se uma das três variantes do ensaio, em função da energia empregada, conforme descrito na norma ABNT NBR (7182:1986). Há basicamente três energias de compactação: Normal, intermediária e modificada. A Tabela 3 mostra as energias e as variáveis de cada uma.

ENSAIO	Massa do soquete (kg)	Altura de queda (cm)	Número de camadas	Número de golpes	Volume do cilindro (10³m³)	Energia (10²kJ/m³)
NORMAL	2,5	30,5	3	25	1000	5,6
INTERMEDIARIO	4,5	45,7	5	26	2085	12,6
MODIFICADO	4,5	45,7	5	55	2085	26,6

Tabela 3 - Energias de compactação do ensaio Proctor (OLIVEIRA, 2014).

2.2.6.1 Execução do ensaio

a) Fixa-se o molde à base metálica, ajusta-se o cilindro complementar e apoia o conjunto em base plana e firme (não se esquecer de pesar o conjunto). Compacta-se no molde o material com o disco espaçador (caso do molde grande), com fundo falso, em camadas iguais, cada camada receberá golpes caindo de certas alturas distribuídas uniformemente sobre a superfície das camadas. O número de golpes dependerá do tipo de Ensaio Proctor a realizar; Caso necessário utiliza-se o papel filtro para evitar a aderência entre o material e a superfície metálica (ou disco espaçador).

b) A compactação de cada camada deve ser presumida de uma ligeira esscarificação da camada subjacente com espátula.

c) Após a compactação da última camada, remove-se o cilindro complementar, tendo-se antes o cuidado de destacar com a espátula o material aderido. Com uma régua de aço biselada arrasa-se o material na altura exata do molde.

São realizadas cerca de 5 compactações com o mesmo solo alterando apenas a sua umidade, que também altera sua massa específica aparente, então ao longo do ensaio é observado e anotado tanto o teor de umidade quanto a massa específica aparente do solo para cada uma das 5 compactações.

2.2.6.2 Resultados do ensaio

- a) Curva de compactação: traça-se a curva de compactação marcando-se nas ordenadas as massas específicas aparentes do solo seco e nas abscissas, os teores de umidade correspondentes;
- b) Massa específica aparente máxima do solo seco: este valor é determinado pela ordenada máxima da curva de compactação;
- c) Umidade ótima: é o valor da abscissa correspondente, na curva de compactação, ao ponto de massa específica aparente máxima do solo seco (ver fig. 6);

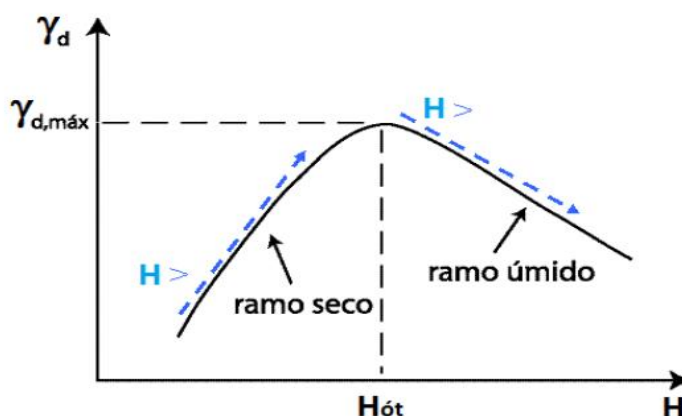


Figura 6 - Gráfico de peso específico aparente (kN/m^3) x Umidade(%) (MAGALHÃES, 2012)

No ponto de inflexão da curva na figura 6 obtém-se o teor de umidade ótimo ($H_{ót}$), isso significa que: se um solo for compactado com a energia de compactação utilizada no ensaio, nesse teor de umidade o solo apresentará a massa específica aparente máxima. Já no ramo seco o solo ainda está com a umidade baixa, a água entrando nos vazios do solo por efeito de capilaridade lubrificando as partículas e facilitando o arranjo.

Logo, se for compactado com baixos teores de umidade ocorre à formação de grumos devido às elevadas forças de capilaridade e baixos valores de massa específica aparente. Por outro lado, o ramo úmido possui água em excesso, as forças capilares diminuem e a água por ser incompressível dissipa parte da energia aplicada no solo, tornando assim uma má compactação (MAGALHÃES, 2012).

Partindo dessa análise, é importante observar que no ramo seco só é benéfico elevar a umidade até o ponto ótimo máximo, assim o ideal para obtermos uma boa compactação de um aterro será utilizar o ponto ótimo do solo desejado, onde o solo atinge sua

massa específica aparente máxima com o melhor arranjo dos grãos sobre certa umidade, encontrado através desse ensaio.

Posteriormente, com o solo aprovado para uso no aterro da obra, verifica-se o Grau de Compactação (GC) em campo pela expressão:

$$GC(\%) = \frac{\gamma_{\text{campo}}}{\gamma_{\text{dmax}}} \times 100 \quad (\text{Eq.1})$$

Onde γ_{campo} é a massa específica seca obtida "*in situ*", e γ_{dmax} é a massa específica seca máxima obtida em laboratório, no ensaio de Proctor, para a energia especificada.

2.3 - Compactação do solo

De acordo com CAPUTO (1975), a compactação de um solo, é o processo manual ou mecânico que visa reduzir o volume de seus vazios e, assim, aumentar sua resistência, tornando-o mais estável. Em geral, existem cinco vantagens na compactação de um solo:

- Aumentar resistência à carga;
- Eliminar recalque do solo ou qualquer outro dano;
- Aumentar sua estabilidade ou dar a ele estabilidade;
- Redução do teor de umidade ou água com filtragem ou drenagem;
- Expulsão de ar.

O início da técnica de compactação dos solos é creditado ao engenheiro norte americano Ralph Proctor, que desde 1933 vem publicando seus estudos e descobertas sobre compactação de aterros, atestando que se aplicarmos certa energia de compactação, ou seja, um certo número de passadas de algum equipamento próprio para determinada necessidade. Para ele o resultado da compactação era a redução dos vazios, concluindo que ela era uma função da umidade em que o solo se encontrasse. Sendo normatizada nos Estados Unidos pela A.A.S.H.O – American Association of State Highway Officials – Ensaio de compactação. Hoje em dia esse ensaio é conhecido como Ensaio Normal de Proctor. Aqui no Brasil o ensaio de Proctor foi padronizado pela ABNT (NBR 7182/86) e na sua última revisão a norma apresentou diversas alternativas para realizar o ensaio (PINTO, 2006).

A energia de compactação que é aplicado em laboratório pelo Ensaio de Proctor foi escolhida para simular, ou seja, ter uma energia que fosse compatível com os equipamentos usados normalmente nos serviços de terraplanagem. E foi entre 1939-1945 durante a segunda guerra mundial devido os constantes bombardeios pesados, as pistas de aeroportos que sentiu-se a necessitar de executar aterros com capacidade de suporte cada vez maior, o que se conseguiu utilizando de equipamentos de compactação mais pesados. Quando nas estradas se prevê um tráfego pesado com elevadas cargas por eixo dos grandes transportes, e com frequência elevada de solicitações, procura-se aumentar o grau de compactação dessa base. Nos solos argilosos, quando desejadas densidades elevadas, deve-se prescrever o Proctor modificado, e execução com equipamentos pesados que aliem pressão estática com amassamento (por exemplo, rolos pneumáticos) (OLIVEIRA, 2014).

2.3.1 - Compactação no campo

A execução de aterros é uma fase que requer maiores cuidados sobre o método, materiais e equipamentos adotados, sendo que um erro na execução desse serviço resulta em drásticas consequências, tanto desagradáveis, quanto financeiras.

Requer uma responsabilidade dos seus executores, pois ocorrem alguns fatores adversos que perturbam sua operação, como: chuva, excesso de umidade do solo e variações imprevisíveis na característica do solo que contribuem para má qualidade do aterro (OLIVEIRA, 2014).

Usualmente são utilizados quatro métodos de compactação:

a) Por impacto - onde em cada número de camadas deixa-se cair um peso a uma determinada altura constante por diversas vezes, como descrito, é também conhecido como compactação dinâmica ou apiloamento. Método que utiliza placa vibratória.

b) Por vibração - é aplicável em solos granulares, onde se coloca uma sobrecarga no topo do solo, ao mesmo tempo em que se vibra o conjunto, obtendo-se maior entrosamento entre os grãos. Método que utiliza rolo liso e rolo pé-de-carneiro.

c) Compressão – o esforço resultante da aplicação de uma força vertical. Permitindo uma melhor arrumação das partículas, partículas, buscando assim a diminuição do volume de vazios do solo, para obter esse tipo de compressão utiliza o rolo liso.

d) Amassamento – busca uma aplicação simultânea de forças verticais e horizontais, provenientes do equipamento utilizado, rolo pé-de-carneiro por exemplo.

É importante estar atento a cada etapa do processo de compactação em campo, devido a necessidade de obter uma conformidade com os parâmetros impostos pelo projeto e também atender aos padrões especificados por norma.

Os aspectos mais relevantes para o controle de compactação são:

- Tipo de solo;
- Espessura da camada;
- Entrosamento entre as camadas;
- Número de passadas;
- Tipo de equipamento;
- Umidade do solo;
- Grau de compactação alcançado.

2.4 - Ensaios de Campo

Com os ensaios realizados em laboratório, obtém-se a base teórica para avaliação das condições do uso do solo no aterro que se deseja fazer. Esses parâmetros são indispensáveis para o projeto de uma obra. Mas existe outro aspecto fundamental no sucesso do empreendimento: o controle tecnológico feito durante a execução de aterros. Os ensaios de campo, sendo crucial, para garantir que a execução atenda os parâmetros exigidos pelo projeto. Apresentam-se então alguns ensaios de campo mais difundidos na terraplanagem:

2.4.1 - Verificação da densidade “*in situ*” através do Frasco de Areia

Em um trabalho de compactação, executado no campo como um aterro, é fundamental verificar se o peso específico definido no projeto foi alcançado. Tendo em vista que o ensaio do frasco de areia tem como objetivo determinar a densidade do solo em campo de forma prática e rápida, ele pode servir também como método de verificação da conformidade entre projeto e execução.

Segundo a NBR 7185/86, o método aplica-se a solos com qualquer tipo de granulação, contendo ou não pedregulhos, que possam ser escavados com ferramentas manuais, e cujos vazios naturais sejam suficientemente pequenos para que a areia usada no ensaio neles não penetre. O material em estudo deve ser suficientemente coeso e firme para que as paredes da cavidade a ser aberta permaneçam estáveis e as operações realizadas não provoquem deformações na cavidade.

2.4.1.1 - Aparelhagem

a) Frasco de vidro ou plástico translúcido (cerca de 3,5 litros) com gargalo rosqueado, funil duplo metálico provido de registro e rosca como mostra a figura 7;

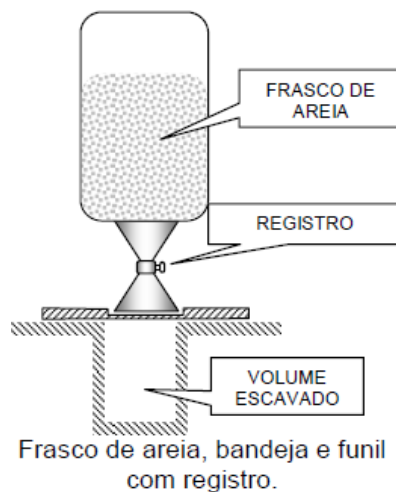


Figura 7 - (Almeida, 2005)

b) Bandeja metálica plana quadrada com 30 cm de lado e bordas de 2,5cm de altura e furo no centro (10 cm) com rebaixo (ver figura 8);

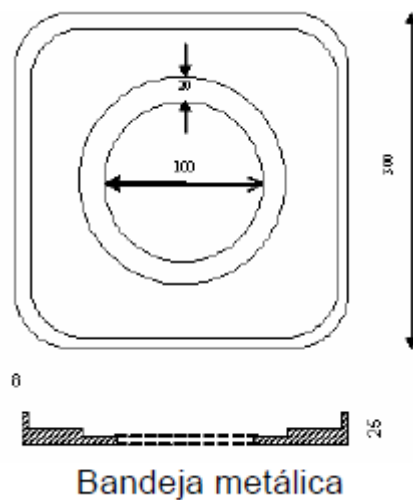


Figura 8 – (Almeida 2005)

- c) Placa de vidro quadrada de 30 cm de lado;
- d) Molde cilíndrico de metal de 10 cm de diâmetro e 1000cm³ de volume;
- e) Balanças com capacidade 1,5 kg e 10 kg, com resolução de 0,1g e 1g, respectivamente, e sensibilidades compatíveis;
- f) Peneiras de 1,2 mm a 0,59 mm (consultar NBR5734);
- g) Talhadeira com cerca de 30 cm de comprimento;
- h) Martelo de 1 kg; i) Pá de mão (concha); j) Pincel ou trincha;
- k) Recipientes que permitam guardar amostra de solo sem perda de umidade.
- l) Areia lavada e seca, de massa específica aparente conhecida e obtida como especificado no item 2, constituída pela fração passante no peneira de 1,2 mm e retida na peneira de 0,59 mm;
- m) Nível de bolha (nível de pedreiro);
- n) Cilindro metálico de volume conhecido (aproximadamente 2000cm³) com diâmetro interno igual ao diâmetro interno do funil do frasco de areia para determinação da massa específica da areia.

Preparação da areia:

- a) secar ao ar;
- b) peneirar com as peneiras 1,2 mm e 0,59 mm, recolhendo a areia entre elas;
- c) lavar na peneira 0,59 mm;
- d) secar em estufa;
- e) peneirar na peneira 0,59 mm.
- f) Para determinação da massa de areia que preenche o funil e o orifício no rebaixo da bandeja, seguem os passos:
 - g) Colocar sobre uma superfície plana a placa de vidro. Sobre a mesma colocar a bandeja de metal onde se encaixa o furo maior do funil;
 - h) pesar o conjunto frasco + funil (M1) estando o frasco cheio de areia.
 - i) Colocar o conjunto frasco+funil+areia encaixado na bandeja e abrir o registro do funil, deixando a areia escoar livremente até cessar seu movimento. Fechar o registro do funil. Retirar o conjunto frasco + funil + areia restante, pesando-o (M2). A diferença (M3) é a massa de areia que preencheu funil e orifício.
 - j) Repetir o procedimento acima várias vezes (sugere-se cinco vezes), até obter pelo menos três valores M3 que não difiram da respectiva média mais que 1% do valor da média.
 - k) Adotar a média dos valores M3 que atendam esta especificação como peso de areia no cone. O modo como se procede ao ensaio no laboratório visa reproduzir em laboratório, tanto quanto possível, as mesmas condições de aleatoriedade ocorrentes no campo. Isto inclui a altura de queda das partículas e o modo como elas se acomodarão. Tanto no campo quanto em laboratório é proibida a ocorrência de vibrações (como as causadas por tráfego e motores ligados) durante os ensaios. Para, finalmente, determinar-se a massa específica aparente da areia, deve-se:
 - a) pesar o conjunto frasco – funil contendo a sua máxima capacidade de areia, preparada. (M4);
 - b) colocar o conjunto frasco + funil + areia sobre a bandeja, e esta sobre o cilindro; abrir o registro do funil deixando a areia escoar livremente até que cesse seu movimento; fechar o registro do funil; retirar o conjunto frasco + funil + areia e pesá-lo (M5);
 - c) A massa de areia que enche o cilindro será obtida pela eq. 2:
$$M6 = M4 - M5 - M3 \quad (\text{Eq. 2})$$
 - d) repetir as operações iniciais várias vezes. Compor a média dos valores M6, não aceitando valores que difiram da respectiva média mais que 1% do valor da média.
 - e) Calcular a massa específica aparente da areia pela eq. 3:

$$\text{areia} = \frac{M6}{V} \quad (\text{Eq. 3})$$

f) onde M6 é a média das massas de areia no cilindro (g) e V é o volume do cilindro (cm³).

Calculada a massa específica da areia, pode-se, então, partir para a parte do ensaio realizada no campo.

Determinação da massa específica aparente do solo no campo:

Enfim, obtém-se o valor da massa específica aparente do solo no campo seguindo as etapas:

a) Limpar a superfície do terreno, tornando-a, tanto quanto possível, plana e horizontal. (usar nível de bolha);

b) Colocar a bandeja, certificando-se se há bom contacto entre esta e a superfície do terreno, e escavar com martelo e talhadeira uma cavidade cilíndrica no terreno, limitada pelo orifício central da bandeja e com profundidade até 15 centímetros (ou que atinja toda a espessura da camada a ser analisada. Quando a camada possuir espessura superior a 15 centímetros, a profundidade máxima do furo será de 15 centímetros).

c) Recolher todo o solo extraído da cavidade, determinar sua massa com resolução de 1g e anotar como Mh.;

d) Determinar o teor de umidade (h) do solo extraído da cavidade, conforme prescreve a norma NBR 6457 – Preparação de amostras;

e) Pesar o conjunto frasco + funil + areia (M7);

f) Ajustar o conjunto frasco + funil + areia sobre o rebaixo da bandeja. Abrir o registro do funil deixando a areia escoar livremente até cessar seu movimento no interior do frasco. Fechar o registro, retirar o conjunto frasco + funil + areia restante, pesando-o com resolução de 1 g e anotar (M8);

g) O peso de areia que preencheu a cavidade do terreno será obtido pela eq. 4:

$$M_{10} = M_7 - M_8 - M_3 \quad (\text{Eq. 4})$$

h) Completar o frasco com areia não usada;

i) Recolher a areia utilizada no furo para novo beneficiamento de laboratório.

j) A massa específica (aparente) seca do solo “in situ” será obtida pela equação 5:

$$\rho_s = f_c \cdot \rho_{\text{areia}} \cdot \frac{M_h}{M_{10}} \quad \text{ou} \quad \rho_s = \left[\frac{100}{(100+h)} \right] \cdot \rho_{\text{areia}} \cdot \frac{M_h}{M_{10}} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

ρ_s = massa específica aparente seca do solo “in situ”, em g/cm³

ρ areia = peso específico aparente da areia, em g/cm³

Mh = massa do solo extraído da cavidade do terreno, em g

M10 = massa da areia que preencheu a cavidade no terreno, em g

h = teor de umidade do solo extraído da cavidade no terreno, em %

fc = fator de correção da umidade = $100 / (100 + h)$

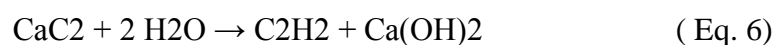
Os procedimentos de ensaio estão estabelecidos na norma ABNT NBR 7185/86.

2.4.2 - Determinação da umidade de solos (Speedy)

No ramo da construção civil é de extrema importância a determinação da umidade do solo em campo, pois com essa análise é possível saber exatamente a quantidade de água presente no solo e a quantidade necessária para obter uma melhor compactação. Se for verificado que o teor de umidade está abaixo do estabelecido no projeto pode ser feita uma adição de água, já no caso de umidade acima da desejada, é preciso adotar medidas para diminuir o teor de umidade no campo.

Seu objetivo é determinar a umidade em solos. A umidade é determinada pela pressão do gás resultante da ação da água contida na amostra sobre o carbureto de cálcio da ampola que é introduzida no aparelho do Speedy (OLIVEIRA, 2014).

Existe um teor de umidade que, dada uma energia de compactação, levará a um peso específico seco mais elevado, o que levará a uma maior resistência mecânica do aterro. Para a determinação do teor de umidade do aterro executado, normalmente usa-se o ensaio conhecido como “Speedy” pela sua rapidez e praticidade na obtenção do resultado. A Norma rodoviária DNER-ME 052/1994 descreve como o ensaio deve ser executado. A determinação do teor de umidade de solos e agregados miúdos com a utilização deste método tem base na reação química da água existente em uma amostra com o carbureto de cálcio, realizada em ambiente confinado, com a equação 6:



O gás acetileno ao expandir-se gera pressão proporcional à quantidade de água existente na amostra. A leitura dessa pressão em um manômetro permite a avaliação da quantidade de água em uma amostra, e em consequência, do seu teor de umidade. A

aparelhagem básica do ensaio está mostrada na figura 9. Os procedimentos de ensaio estão estabelecidos na norma DNER-ME 052/1994.



Figura 9 - Aparelho Speedy (SOLOCAP, 2018).

2.4.3 - Prova de carga estática em placa, para controle de qualidade na execução de aterros solo-enrocamento

Toda obra de terraplenagem necessita de um controle tecnológico, porque é importante determinar sua massa específica e sua umidade ao longo do processo executivo, tendo sempre como base os parâmetros impostos pelo projeto.

Diante disso, é válido salientar que existem outros métodos que vão além de verificar uma conformidade entre projeto e execução, por meio do peso específico *in situ* e o teor de umidade. Há também a possibilidade de análise do comportamento tensão-deformação do solo compactado, se constituindo numa forma alternativa de avaliar se o material foi bem compactado, com base no módulo de deformabilidade do maciço, por meio do ensaio de prova de carga estática cíclica em placa.

Optar pelo método da deformabilidade é interessante, pois ele serve para complementar o controle de compactação de aterros, e também é uma forma de avaliar melhor a relação entre a deformabilidade do aterro com o seu grau de compactação. Diante disso observa a importância do método, sendo que quanto maior o número de parâmetros analisados, melhor a precisão durante o processo executivo.

A determinação do módulo de deformabilidade do solo pode ser determinado seguindo tanto a norma alemã DIN 18134:2012-04, quanto a norma brasileira ABNT DNIT 410/2017.

O seguinte ensaio é realizado de maneira em que uma placa circular é submetida a um processo de carga e descarga estática. O processo é realizado em incrementos, obtendo-se medidas do deslocamento associado a cada valor de carga. O ensaio de placa pode ser realizado em solos finos firmes, solos grossos e misturas de solos e blocos de rocha. Esse ensaio serve como base para a determinação do Módulo de Deformabilidade (EV2) utilizando o ensaio de carga estática sobre placa. O ensaio pode ser realizado para controle da qualidade das camadas de solo-enrocamento utilizadas na construção de aterros (DNIT 410/2017).

2.5 - Equipamentos para execução de aterros

Em todas as obras de engenharia existe uma necessidade inicial de preparar o terreno retirando entulho, resto de vegetação e nivelamento do solo. Esses processos são executados por meio de equipamentos comuns, antes de se iniciar de fato a compactação do aterro, vemos a seguir equipamentos utilizados na fase inicial e durante o processo de compactação:

2.5.1 - Trator esteira

O trator esteira com lâmina é sem dúvidas o equipamento mais utilizado na execução do terraplenagem, pois em todas as fases, desde o início até o final das atividades ele faz-se necessário. Uma das suas aplicações mais frequentes do trator esteira com lâmina é na escavação em secção mista, ou seja, onde existe corte e aterro simultaneamente, à medida que a própria máquina vai fazendo a plataforma a se trabalhar, ele vai compactando a área em função de suas sucessivas passadas pelas esteiras (RICARDO, 2007).



Figura 10 – trator esteira (OLIVEIRA,2014)

2.5.2 - Escavadeira hidráulica

Utilizada na remoção de diversos solos, inclusive solos moles, com excesso de água e presença de matéria orgânica. Os solos com essas características demonstram baixa capacidade de suporte à ação de cargas, impedindo assim o tráfego de qualquer equipamento, inclusive o trator esteira. Assim só podem ser retirados com a utilização desse equipamento que escava a distância e até a profundidade de alguns metros (OLIVEIRA, 2014).



Figura 11 – escavadeira hidráulica (CAT, 2017)

2.5.3 - Moto niveladora

É um equipamento para acabamento da terraplenagem e o seu emprego é muito diversificado. É utilizado para tarefas simples, como o espalhamento do material, regularização de camadas de terra a serem compactadas, e também para cortes superficiais para atenderem a cotas determinadas pela topografia, com sua lâmina através de sucessivas passadas ela executa todas essas atividades com precisão devido a facilidade de ajustar a posição da sua lâmina. O equipamento é provido de escarificadores e são utilizados em terrenos muito compactos (natural ou mecanizado), quebrando assim a resistência ao corte para prosseguir a sua remoção com a lâmina. (RICARDO, 2007).



Figura 12 – Moto niveladora (Acervo pessoal).

2.5.4 - Pá carregadeira de pneu

Ao contrário da escavadeira mecânica, este equipamento só pode ser usado em terrenos firmes, com pouca umidade, limitando suas aplicações ao corte e carga de materiais de fácil desagregação, ou já desagregados como: areia, pedregulhos, cascalhos, brita, rochas fraturadas, etc.. (OLIVEIRA, 2014).



Figura 13 – Pá carregadeira de pneu (CAT, 2017).

A compactação desejada pode ser obtida, por meio de equipamentos, através de métodos adequados, outros fatores que influenciam são especificação de compactação, condições do local da obra, clima. Os equipamentos mais empregados podem ser vistos a seguir:

2.5.5 - Placas Vibratórias e Placas Vibratórias Reversíveis

Placas vibratórias, de acordo com a Figura 7, são projetadas para compactar solos granulares e asfalto. Tem motor a gasolina ou diesel e acionam um ou dois pesos excêntricos a uma velocidade alta para desenvolver força de compactação. As vibrações resultantes causam movimento para a frente. A máquina e os punhos estão isolados da vibração da placa. Quanto mais pesada é a placa, maior a força de compactação gerada. A faixa de frequência é usualmente de 2500 a 6000 vpm. Os compactadores de placas vibratórias são mais usados para asfalto, têm um tanque de água e um sistema de irrigação para impedir a aderência do asfalto à placa base. Vibração é o principal efeito para compactação (SILVA, 2008).



Figura 14 – Equipamentos de placa vibratória (MAGALHÃES, 2012).

2.5.6 - Compactadores de rolos pé-de-carneiro

Este tipo de rolo apresenta grande eficiência e permite um maior entrosamento entre as camadas, pois estas funcionam como uma espécie de macho/fêmea, ou seja, as cavidades deixadas pelo pé de carneiro são preenchidas com a camada de solo subsequente permitindo um arranjo bem firme entre as partículas e de camada para camada (MAGALHÃES, 2012).



Figura 15 – Compactador de rolo pé-de-carneiro (Acervo pessoal).

2.5.7 - Rolo Estático Liso

O rolo estático liso de três rodas visto na figura 12 - a, é um equipamento pesado onde às duas rodas traseiras funcionam como tração e o rolo dianteiro como direção. É utilizado basicamente na camada de revestimento ou acabamento de estradas. Seu cilindro é oco preenchido com material de densidade elevada como água ou areia úmida para permitir maior pressão de contato. Este equipamento pode atingir até 14 toneladas sendo que destas, 9 pertencem apenas ao rolo (MAGALHÃES, 2012).



Figura 16 – Rolo Estático Liso (MAGALHÃES, 2012).

2.5.8 - Rolo Pneumático

São equipados com 7 a 11 pneus e com as rodas dianteiras e traseiras alinhadas. Com um rolo de natureza estática, a força de compactação é alterada pela adição ou remoção de peso no lastro, em forma de água ou areia. Os limites de peso variam de 10 a 35 toneladas. O esforço de compactação é por pressão e amassamento, principalmente com rolo de acabamento asfáltico. A pressão sobre os pneus pode ser diminuída em algumas máquinas, durante a operação, para ajustar a pressão de contato com o solo para diferentes condições de trabalho (SILVA, 2012).



Figura 17 – Rolo Pneumático (MAGALHÃES, 2012).

2.5.9 - Caminhão Pipa

É um caminhão que transporta água, utilizado em obras de terraplenagem, muito importante para o controle de umidade, pois dependendo das condições do solo ele pode não estar com a umidade desejada, sendo assim, necessita ser umedecido, também pode ser utilizado para limpeza, como no caso de necessidade de limpar uma via.



Figura 18 – Caminhão Pipa (CAVALARO, 2018)

3 – Metodologia

3.1 – Descrições da obra e estudos preliminares

Para a realização desse trabalho foi usado dados da execução de um aterro do complexo termoeletrico da barra dos coqueiros. O complexo termoeletrico de Sergipe é uma obra de grande porte, por isso o solo presente no local necessita de certa capacidade para poder receber o seguinte empreendimento, em virtude da não capacidade necessária exigida pelo projeto, tem se a necessidade de se executar um aterro para melhoramento do mesmo. Para a execução desse aterro foram exigidos e especificados alguns parâmetros tecnológicos, além dos que são empregados na maioria dos aterros convencionais. No presente caso, foi especificado um parâmetro a mais para o controle tecnológico da camada de brita graduada preparada para receber os blocos de fundação da estrutura da usina termelétrica. Dessa forma, o módulo de deformabilidade do solo obtido do ensaio de placa cíclico também é considerado, especialmente em países da Europa, a exemplo da Alemanha, como um balizador da qualidade do aterro compactado. Em que pese o fato de ser um método novo para o controle tecnológico de aterros, e, portanto, não muito familiar no meio técnico brasileiro, presente na norma alemã (DIN 18134:2012-04), no Brasil já existe normalização especificando esse procedimento de ensaio, publicado em março de 2017 pelo DNIT (DNIT 410/2017).

O complexo onde está sendo instalada a primeira Usina Termométrica de Sergipe está localizado no município de Barra dos Coqueiros, no estado de Sergipe, próximo ao Parque Eólico da região (ver Figura 20).

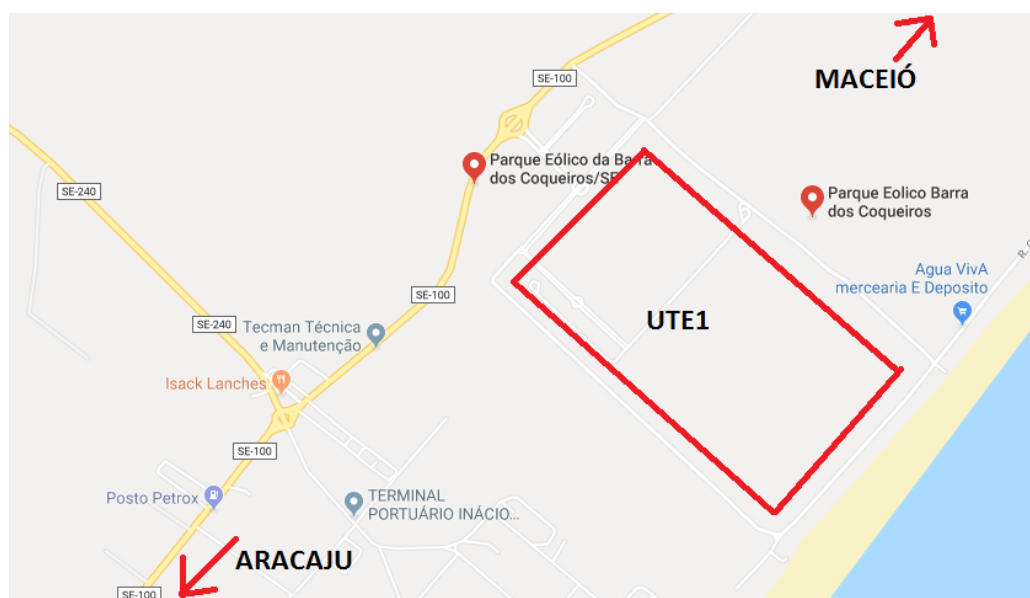


Figura 19 – Complexo termo elétrico (Google maps, 2018).

Considerado o maior complexo da América latina a UTE1, localizada na Barra dos Coqueiros, é uma obra com um custo de construção em torno de 5 bilhões de reais realizada pelo Grupo GenPower, gerando energia através do gás natural, possuirá uma capacidade de geração por volta de 1,5 giga watts (GW), o que corresponde à metade da energia gerada pela hidroelétrica de Xingó, previsto para entrar em funcionamento em 2020 (G1, 2018).

Segundo os estudos preliminares, a principio realizou um estudo sobre o solo do local da obra, para poder determinar o perfil do terreno, por meio de sondagem SPT. Foram executados varias sondagens totalizando 9 furos, mas mesmo tendo vários furos os resultados não tiveram muita diferença, todos seguem o mesmo padrão da figura 20, é notável que o solo apresenta um NSPT alto, indicando um solo bem resistente, a partir da profundidade de 6 metros.

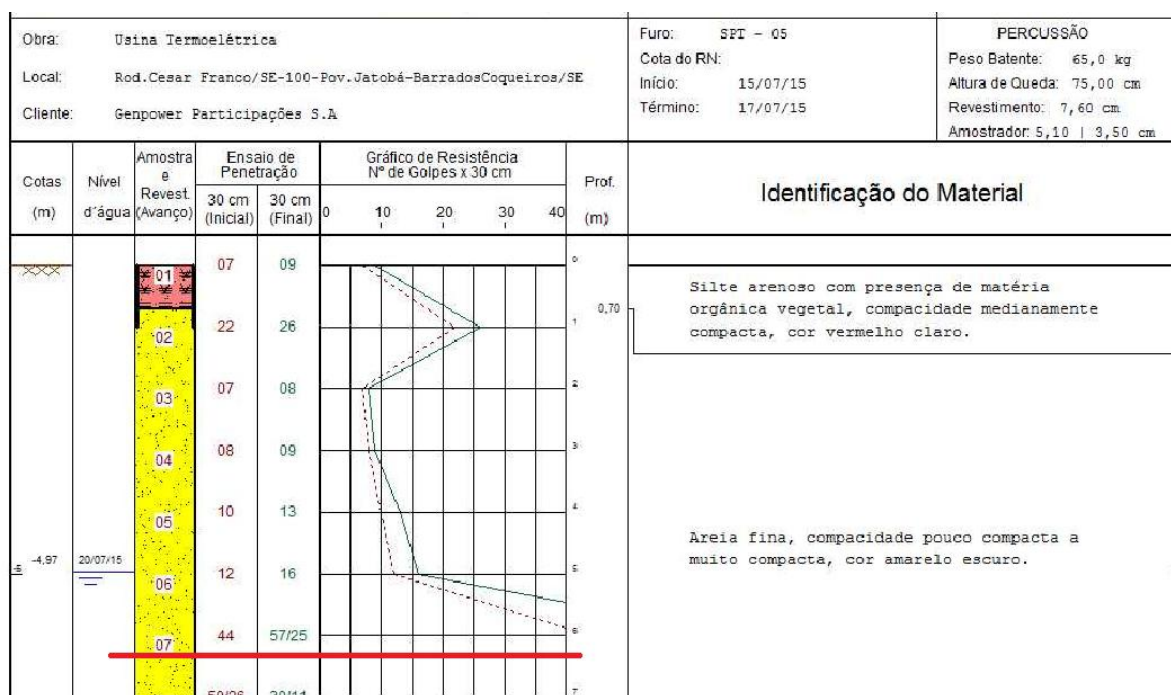


Figura 20 – Sondagem SPT- FURO 05 (Acervo pessoal)

Como notado na Figura 20, o solo apresenta uma areia fina muito compacta depois da profundidade de 6 metros, e antes de atingir essa profundidade apresenta silte que não é ideal para receber uma carga como a dessa obra, sendo assim decidiu aplicar estacas com diâmetro de 60 cm com profundidade de 6 metros, e acima das estacas decidiu aplicar um lastro de material granular dividindo em dois traços (com proporções em volume) sendo:

Mistura 01 – 20% de Rachinha + 20% de Brita 1 + 10% de Brita 3/4 + 10% Brita 0 + 40% Pó de Pedra (ver reg. 148/17).

Mistura 02 - 20% de Rachinha + 20% de Brita 1 + 60% de Brita Graduada Simples.

As duas misturas de aterros devem totalizar cada uma, contendo uma espessura total de 60 cm como ilustrado na figura 21.

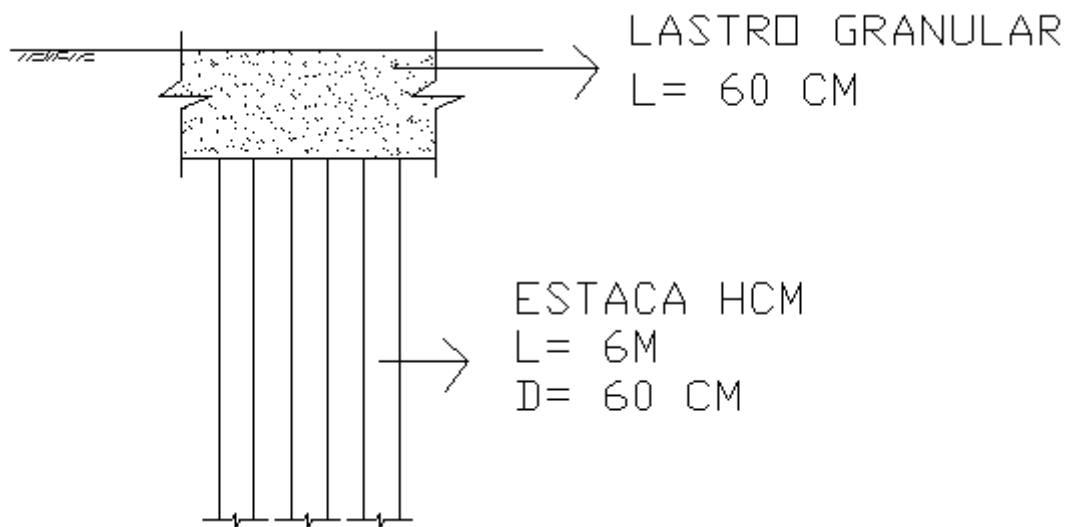


Figura 21 – perfil das estacas e aterro (Acervo pessoal)

Logo após a execução das estacas era feito uma escavação de aproximadamente 100 cm do solo em volta das estacas e um arrasamento da cabeça das estacas (ver Figura 22).



Figura 22 – escavação em volta das estacas (CAVALCANTE, 2017).

3.2 – Métodos

A metodologia adotada nos ensaios de placa se baseia na norma alemã DIN 18134:2012-04, quanto a norma brasileira ABNT DNIT 410/2017.

A metodologia trata de apresentar os materiais, equipamentos e os processos utilizados na pesquisa, em virtude disso, segue-se com a descrição dos materiais e métodos empregados neste trabalho com vistas à determinação do módulo da deformabilidade do solo.

A) Sistema de reação

O ensaio de prova de carga pode ser executado com qualquer sistema rígido que permita aplicar uma carga de reação pelo menos 20% maior que a carga máxima aplicada no ensaio. Pode ser utilizado qualquer sistema como carreta, caminhão, etc., que ofereça reação mínima de 80 kN (8 tf).

B) Placa de prova

Placa circular de aço. Pode-se utilizar uma placa circular com diâmetro mínimo de 76,2 cm e 2,0 cm de espessura (ver Figura 23). A placa deve possuir rigidez suficiente para o trabalho a ser executado. Para garantir a rigidez do sistema pode-se utilizar:

- a) Um arranjo piramidal de no mínimo quatro placas superpostas, com máximo 15 cm de diferença nos diâmetros entre placas adjacentes, ou;
- b) Reforços enrijecedores igualmente espaçados na face superior, e que permitam a colocação do macaco hidráulico e a aplicação do carregamento.



Figura 23 – placa circular de aço (Acervo pessoal)

C) Macaco hidráulico

Equipamento com capacidade entre 100 e 200 KN, que permita a aplicação de pequenos incrementos de carga, que são mantidos até que se obtenha a estabilização dos deslocamentos. Deve ser dotado de sistema de controle (p.e manômetro) com precisão da ordem de 0,01 MPa.

D) Defletômetros

São recomendados, três no mínimo, graduados em 0,01 mm, com curso mínimo de 10 mm para ensaio de placa especial, com vistas à medição do módulo de deformabilidade.

Os equipamentos mencionados formam um conjunto importante para a execução do ensaio, tendo em vista que uma carga precisa ser aplicada sobre o solo através de um sistema de reação controlado por um macaco hidráulico, atuando sobre uma placa circular rígida, responsável pela transmissão das cargas ao solo, e também onde são colocados os defletômetros para medir o deslocamento vertical do solo abaixo da placa.

3.2.1 Execução do ensaio.

Antes de iniciar o ensaio, deve-se determinar o carregamento máximo que será aplicado, de acordo com o tipo de camada e o tamanho da placa, como também ajustar os medidores em zero.

O ensaio realizado com dois ciclos de carregamento, sendo cada ciclo dividido em seis estágios, com incrementos aproximadamente iguais, até se atingir o carregamento máximo.

a) Pré-carregamento

Deve-se aplicar um primeiro carregamento que produza uma pressão de 0,005 MPa. Manter durante pelo menos 30 s e, após, descarregar e retornar os defletômetros a zero.

b) Primeiro ciclo

No primeiro ciclo de carregamento Cada carga do ciclo deve ser colocada gradativamente, em um intervalo mínimo de 60 s (1 minuto) e ser mantida constante pelo menos durante 120 s (2 minutos). Após a estabilização dos defletômetros, registrar as leituras. O processo deverá ser realizado em, no mínimo, 6 etapas, até que se atinja o carregamento

máximo desejado. A carga máxima deve ser retirada em três etapas, variando de 100% para 50%, 25% e 2% do valor total.

A Tabela 5 ilustra modelo de planilha para as leituras do primeiro ciclo de um ensaio de carga estática em placa.

Etapas	Carga (kN)	Tensão Normal (MPa)	Leitura da média dos defletômetros (mm)	Deslocamento (mm)
0	0,71	0,00		
1	5,65	0,01		
2	11,31	0,02		
3	17,67	0,04		
4	23,33	0,05		
5	29,69	0,07		
6	35,34	0,08		
7	17,67	0,04		
8	8,84	0,02		
9	0,71	0,00		

Tabela 4 – Leituras do primeiro ciclo de carregamento (DNIT 410/2017)

c) Segundo ciclo de carregamento

Após descarregar a placa, deve ser realizado um segundo ciclo de carregamento, até o penúltimo estágio do primeiro ciclo (sem atingir a carga máxima). A Tabela 6 ilustra o modelo de planilha para as leituras do segundo ciclo de um ensaio de carga estática em placa, tendo-se como referência o primeiro ciclo ilustrado na Tabela 5.

Etapas	Carga (kN)	Tensão Normal (MPa)	Leitura da média dos defletômetros (mm)	Deslocamento (mm)
9	0,71	0,00		
10	5,65	0,01		
11	11,31	0,02		
12	17,67	0,04		
13	23,33	0,05		
14	29,69	0,07		

Tabela 5 – Leituras do segundo ciclo de carregamento (DNIT 410/2017).

d) Cálculos e resultados

Após a execução do primeiro e do segundo ciclo, tem-se os dados dos deslocamentos verticais para cada estágio de tensão. Sendo assim, é possível traçar a curva de tensão – deslocamento (ver fig. 24), onde nas ordenadas tem-se os deslocamentos verticais após cada carregamento (média dos resultados dos três defletômetros) e, nas abscissas, as tensões transmitidas pela placa ao solo.

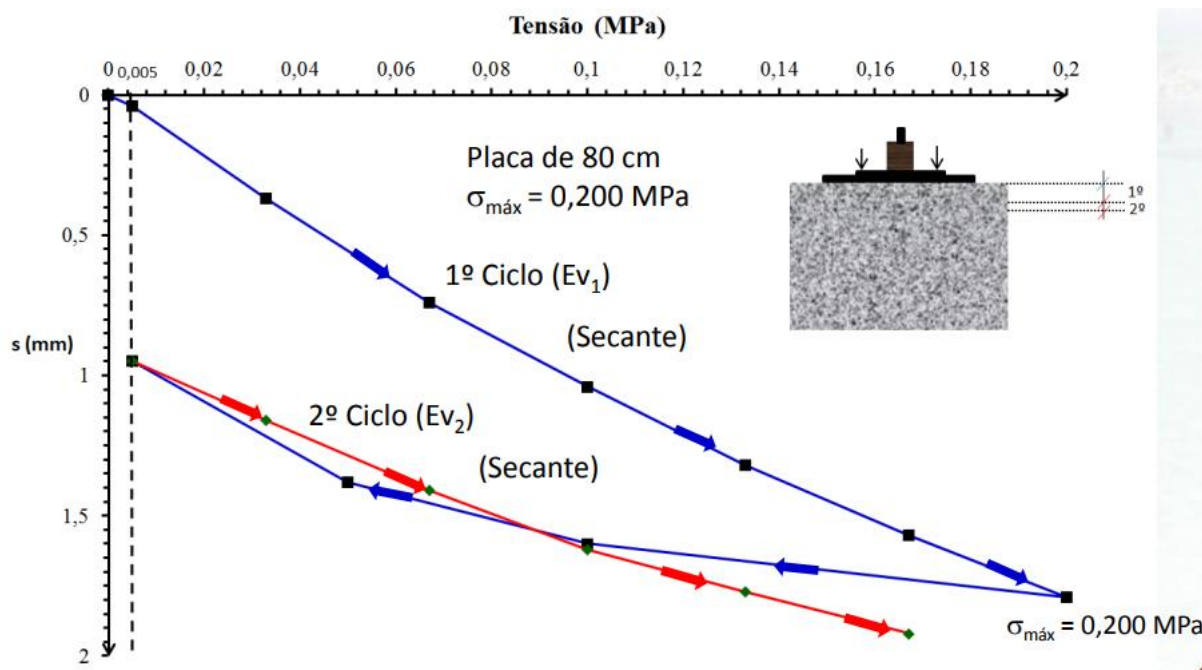


Figura 24 – curva tensão - deslocamento (CAVALCANTE, 2017).

Com a obtenção da curva tensão – deslocamento, obtém-se os dados dos pontos da curva, que são necessários para calcular o módulo de deformabilidade do primeiro e do segundo ciclo.

Para cada ciclo de carga deve ser realizada uma regressão polinomial de segunda ordem, de acordo com a equação 7:

$$s = a_0 + a_1 \sigma_0 + a_2 \sigma_0^2 \quad \text{eq. (7)}$$

Onde:

s = deslocamento da placa (média dos três defletômetros), (mm);

σ_0 = pressão média na placa, (MN/m²);

a_0 = constante da regressão polinomial de segunda ordem, (mm);

a_1 = constantes da regressão polinomial de segunda ordem, (mm/(MN /m²)).

e a_2 = constantes da regressão polinomial de segunda ordem, (mm/(MN² /m⁴)).

Determinadas as constantes da regressão polinomial para o primeiro e para o ,segundo ciclo, pode-se determinar o módulo de deformabilidade EV1 e EV2, como mostrado nas equações 8 e 9:

$$EV1 = \frac{1,5 r}{a_1 + a_2 \sigma_0 \text{ máx}} \quad \text{eq. (8)}$$

r = raio da placa (mm);

$\sigma_0 \text{ máx}$ = pressão máxima vertical sob a placa no ensaio ou pressão máxima no primeiro ciclo de carregamento (MPa).

a_1 = constantes da regressão polinomial de segunda ordem, (mm/(MN /m²)).

e a_2 = constantes da regressão polinomial de segunda ordem, (mm/(MN² /m⁴)).

$$EV2 = \frac{1,5 r}{a_1 + a_2 \sigma_0 \text{ máx}} \quad \text{eq. (9)}$$

r = raio da placa (mm);

$\sigma_0 \text{ máx}$ = pressão máxima vertical sob a placa no ensaio ou pressão máxima no primeiro ciclo de carregamento (MPa).

a_1 = constantes da regressão polinomial de segunda ordem, (mm/(MN /m²)).

e a_2 = constantes da regressão polinomial de segunda ordem, (mm/(MN² /m⁴)).

O módulo de elasticidade ou de deformabilidade é um parâmetro que representa as características de rigidez de um solo. Como visto, ele é determinado a partir da curva de tensão-deslocamento obtida do ensaio de placa. Durante o ensaio de placa, aplica-se uma carga sobre o solo e obtém o módulo de deformabilidade (EV1), depois o solo é descarregado e carregado novamente com a mesma carga, obtendo agora o módulo de deformabilidade (EV2), a razão entre o EV1 e o EV2 deve dar ≥ 2 (Ver eq.10 e tabela 7), para garantir que o solo foi bem compactado. segundo a NORMA DNIT 410/2017.

A razão entre os valores dos módulos (KE_v) é um indicativo do grau de compactação. Esta razão pode ser determinada com a equação 10:

$$KE_v = \frac{EV2}{EV1} \quad \text{eq. (10)}$$

Para camadas de solo-enrocamento, os valores sugeridos, obtidos do ensaio de placa, são apresentados na Tabela 7:

Parâmetro	Valor
EV2 (MPa)	≥ 60
$S_{máx}$ (mm)	13
KE_v (%)	≥ 2

Tabela 6 - Valores sugeridos para o ensaio de carga estática em placa (DNIT 410/2017).

4 - Apresentação da Termoelétrica e Análise dos resultados

4.1 - Controles Tecnológicos Convencionais

Como mencionado anteriormente, aplicou-se sobre as estacas do tipo hélice contínua uma camada de pequena espessura (lastro granular), na qual foram executados alguns ensaios geotécnicos no intuito de obter um melhor controle tecnológico do serviço.

Em laboratório executou-se o ensaio de Compactação na energia do Proctor Intermediário. Em campo, foram executados os ensaios de massa específica “In Situ” e umidade de campo, com o emprego do Cilindro de Cravação e frasco de areia, nas camadas de aterro e regularização do terreno natural.

O aterro foi executado seguindo-se os parâmetros impostos pelo projeto, e, conforme as verificações feitas em campo, o aterro atingiu resultados satisfatórios, em termos de grau de compactação, como pode ser observado na Figura 25.

CONTROLE DE COMPACTAÇÃO								
Obra:		Ute Porto de Sergipe						
Local:		Município da Barra dos Coqueiros (Jatobá/se)						
Cliente:		FM Terraplenagem						
SERIAL	DATA DE EXECUÇÃO		28/06/17	28/06/17	28/06/17	28/06/17		
	Nº ENSAIO / FURO		01	02	03	04		
CONTROLE	LOCAL DO ENSAIO							
		LOCAL	12UHA					
		POSIÇÃO (BORDO)	EIXO	BO	EIXO	BE		
	TIPO DE CAMADA		Regularização	Regularização	Regularização	Regularização		
PROJETO	REGISTRO AMOSTRA N°(LAB)		073A	073A	073A	073A		
	UMIDADE ÓTIMA (%)		12,1	12,1	12,1	12,1		
	DENSIDADE MÁXIMA (LAB) (g/dm³)		1.815	1.815	1.815	1.815		
ENSAIOS DE CAMPO	PROF. FURO / CILINDRO (cm)		11,5	11,5	11,5	11,5		
	UMIDADE (%)		12,4	12,4	12,4	11,6		
	DENSIDADE SECA (g/dm³)		1.808	1.826	1.808	1.819		
	GRAU DE COMPACTAÇÃO (%)		100	101	100	100		
OBSERVAÇÕES:								

Figura 25 – Controle de compactação (Acervo pessoal).

Os resultados em campo são bem próximos dos esperados pelo projeto como observado na Figura 25, em que o grau de compactação obtido foi igual ou maior que o especificado, com valores de GC \geq 100%. No caso da umidade e da densidade, os resultados

podem ser considerados muito bons, havendo muita compatibilidade entre controle de campo e especificações de projeto, em muitos outros trechos do aterro os resultados seguem a mesma linha de resultados.

4.2 – Controle pelo Ensaio de prova de carga cíclica

Para determinação do controle da deformabilidade muito bem enfatizado nesse trabalho, necessita do ensaio de prova de carga cíclica.

Os resultados dos ensaios de provas de carga cíclicas que serão citados aqui foram aplicados nas áreas 10-1, 10-2, 11-2, 12-1, 12-2, 12-3. Tomaremos cada uma dessas áreas para apresentar todos os dados e resultados obtidos nos ensaios, como as cargas aplicadas e as respectivas reações no solo, seus módulos de deformabilidade e as comparações entre os respectivos EV1 e EV2.

- Para a área 12-1

Têm-se os dados dos estágios de tensão e os respectivos valores de recalques, para o primeiro ciclo de carregamento, mostrados nas Tabelas 7 e 8.

Tensão Normal (MPa)	Recalque (mm)
0,033	0,56
0,067	1,51
0,1	2,18
0,133	2,82
0,167	3,34
0,2	3,83

Tabela 7 – Leituras do primeiro ciclo de carregamento (Acervo pessoal).

Os parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga realizada na área 12-1 estão exibidos na Tabela 8.

a_0	a_1	a_2	Tensão máxima do ensaio (MPa)	Raio da placa (mm)	EV1 (MPa)
- 0,3502	30,015	- 46,16	0,20	400	28,9

Tabela 8 – Parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga executada na área 12-1 (Acervo pessoal).

- Para a área 12-1, têm-se os dados dos estágios de tensão e os respectivos valores de recalques, para o segundo ciclo de carregamento, mostrados nas Tabelas 9 e 10.

Tensão Normal (MPa)	Recalque (mm)
0,005	2,71
0,033	3,07
0,067	3,42
0,1	3,65
0,133	3,84
0,167	3,97

Tabela 9 – Leituras do segundo ciclo de carregamento (Acervo pessoal).

Os parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga realizada na área 12-1 estão exibidos na Tabela 10.

a_0	a_1	a_2	Tensão máxima do ensaio (MPa)	Raio da placa (mm)	EV2 (MPa)
2,6524	13,504	- 33,899	0,20	400	89,2

Tabela 10 – Parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do segundo ciclo de carregamento da prova de carga executada na área 12-1 (Acervo pessoal).

Com os valores de EV1 e EV2 conseguimos obter a relação:

$$\frac{EV2}{EV1} = \frac{89,2}{28,9} = 3,09$$

- Para a área 12-2

Têm-se os dados dos estágios de tensão e os respectivos valores de recalques, para o primeiro ciclo de carregamento, mostrados nas Tabelas 11 e 12.

Tensão Normal (MPa)	Recalque (mm)
0,033	0,37
0,067	0,74
0,1	1,04
0,133	1,32
0,167	1,57
0,2	1,79

Tabela 11 – Leituras do primeiro ciclo de carregamento (Acervo pessoal).

Os parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga realizada na área 12-2 estão exibidos na Tabela 12.

a_0	a_1	a_2	Tensão máxima do ensaio (MPa)	Raio da placa (mm)	EV2 (MPa)
-0,0036	11,966	- 15,07	0,20	400	67

Tabela 12 – Parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga executada na área 12-2 (Acervo pessoal).

- Para a área 12-2, têm-se os dados dos estágios de tensão e os respectivos valores de recalques, para o segundo ciclo de carregamento, mostrados nas Tabelas 13 e 14.

Tensão Normal (MPa)	Recalque (mm)
0,005	0,95
0,033	1,16
0,067	1,41
0,1	1,62
0,133	1,77
0,167	1,92

Tabela 13 – Leituras do segundo ciclo de carregamento (Acervo pessoal).

Os parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga realizada na área 12-2 estão exibidos na Tabela 14.

a_0	a_1	a_2	Tensão máxima do ensaio (MPa)	Raio da placa (mm)	EV2 (MPa)
0,9032	8,5413	- 14,751	0,20	400	107,3

Tabela 14 – Parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga executada na área 12-2 (Acervo pessoal).

Com os valores de EV1 e EV2 conseguimos obter a relação:

$$\frac{EV2}{EV1} = \frac{107,3}{67} = 1,6$$

- Para a área 12-3.

Têm-se os dados dos estágios de tensão e os respectivos valores de recalques, para o primeiro ciclo de carregamento, mostrados nas Tabelas 15 e 16.

Tensão Normal (MPa)	Recalque (mm)
0,033	0,52
0,067	1,06
0,1	1,43
0,133	1,76
0,167	2,01
0,2	2,24

Tabela 15 – Leituras do primeiro ciclo de carregamento (Acervo pessoal).

Os parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga realizada na área 12-3 estão exibidos na Tabela 16.

a_0	a_1	a_2	Tensão máxima do ensaio (MPa)	Raio da placa (mm)	EV2 (MPa)
-0,0183	17,832	- 33,209	0,20	400	53,6

Tabela 16 – Parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga executada na área 12-3 (Acervo pessoal).

- Para a área 12-3, têm-se os dados dos estágios de tensão e os respectivos valores de recalques, para o segundo ciclo de carregamento, mostrados nas Tabelas 17 e 18.

Tensão Normal (MPa)	Recalque (mm)
0,005	1,62
0,033	1,85
0,067	2,00
0,1	2,11
0,133	2,22
0,167	2,28

Tabela 17 – Leituras do segundo ciclo de carregamento (Acervo pessoal).

Os parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga realizada na área 12-3 estão exibidos na Tabela 18.

a_0	a_1	a_2	Tensão máxima do ensaio (MPa)	Raio da placa (mm)	EV2 (MPa)
1,6031	7,097	- 18,347	0,20	400	175

Tabela 18 – Parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga executada na área 12-3 (Acervo pessoal).

Com os valores de EV1 e EV2 conseguimos obter a relação:

$$\frac{EV2}{EV1} = \frac{175,0}{53,6} = 3,3$$

- Para a área 10-1.

Têm-se os dados dos estágios de tensão e os respectivos valores de recalques, para o primeiro ciclo de carregamento, mostrados nas Tabelas 19 e 20.

Tensão Normal (MPa)	Recalque (mm)
0,033	0,64
0,067	1,27
0,1	1,81
0,133	2,28
0,167	2,68
0,2	3,05

Tabela 19 – Leituras do primeiro ciclo de carregamento (Acervo pessoal).

Os parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga realizada na área 10-1 estão exibidos na Tabela 20.

a_0	a_1	a_2	Tensão máxima do ensaio (MPa)	Raio da placa (mm)	EV2 (MPa)
-0,0238	21,229	- 29,532	0,20	400	39,2

Tabela 20 – Parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga executada na área 10-1 (Acervo pessoal).

- Para a área 10-1, têm-se os dados dos estágios de tensão e os respectivos valores de recalques, para o primeiro ciclo de carregamento, mostrados nas Tabelas 21 e 22.

Tensão Normal (MPa)	Recalque (mm)
0,005	2,34
0,033	2,52
0,067	2,75
0,1	2,85
0,133	2,99
0,167	3,13

Tabela 21 – Leituras do segundo ciclo de carregamento (Acervo pessoal).

Os parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga realizada na área 10-1 estão exibidos na Tabela 22.

a_0	a_1	a_2	Tensão máxima do ensaio (MPa)	Raio da placa (mm)	EV2 (MPa)
1,6031	7,097	- 18,347	0,20	400	175

Tabela 22 – Parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga executada na área 10-1 (Acervo pessoal).

Com os valores de EV1 e EV2 conseguimos obter a relação:

$$\frac{EV2}{EV1} = \frac{135,4}{39,2} = 3,5$$

- Para a área 10-2.

Têm-se os dados dos estágios de tensão e os respectivos valores de recalques, para o primeiro ciclo de carregamento, mostrados nas Tabelas 23 e 24.

Tensão Normal (MPa)	Recalque (mm)
0,033	0,89
0,067	1,56
0,1	2,03
0,133	2,48
0,167	2,84
0,2	3,15

Tabela 23 – Leituras do primeiro ciclo de carregamento (Acervo pessoal).

Os parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga realizada na área 10-2 estão exibidos na Tabela 24.

a_0	a_1	a_2	Tensão máxima do ensaio (MPa)	Raio da placa (mm)	EV2 (MPa)
0,2318	21,666	- 35,66	0,20	400	41,3

Tabela 24 – Parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga executada na área 10-2 (Acervo pessoal).

- Para a área 10-2, têm-se os dados dos estágios de tensão e os respectivos valores de recalques, para o segundo ciclo de carregamento, mostrados nas Tabelas 25 e 26.

Tensão Normal (MPa)	Recalque (mm)
0,005	2,3
0,033	2,49
0,067	2,73
0,1	2,91
0,133	3,05
0,167	3,18

Tabela 25 – Leituras do segundo ciclo de carregamento (Acervo pessoal).

Os parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do segundo ciclo de carregamento da prova de carga realizada na área 10-2 estão exibidos na Tabela 26.

a_0	a_1	a_2	Tensão máxima do ensaio (MPa)	Raio da placa (mm)	EV2 (MPa)
2,2555	7,9516	- 14,523	0,20	400	118,9

Tabela 26 – Parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do segundo ciclo de carregamento da prova de carga executada na área 10-2 (Acervo pessoal).

Com os valores de EV1 e EV2 conseguimos obter a relação:

$$\frac{EV2}{EV1} = \frac{118,9}{41,3} = 2,9$$

- Para a área 11-2

Têm-se os dados dos estágios de tensão e os respectivos valores de recalques, para o primeiro ciclo de carregamento, mostrados nas Tabelas 27 e 28.

Tensão Normal (MPa)	Recalque (mm)
0,033	0,94
0,067	1,51
0,1	1,94
0,133	2,31
0,167	2,6
0,2	2,85

Tabela 27 – Leituras do primeiro ciclo de carregamento (Acervo pessoal).

Os parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga realizada na área 11-2 estão exibidos na Tabela 28.

a_0	a_1	a_2	Tensão máxima do ensaio (MPa)	Raio da placa (mm)	EV2 (MPa)
0,3514	19,316	- 34,395	0,20	400	48,2

Tabela 28 – Parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do primeiro ciclo de carregamento da prova de carga executada na área 11-2 (Acervo pessoal).

- Para a área 11-2, têm-se os dados dos estágios de tensão e os respectivos valores de recalques, para o segundo ciclo de carregamento, mostrados nas Tabelas 29 e 30.

Tensão Normal (MPa)	Recalque (mm)
0,005	2,00
0,033	2,24
0,067	2,49
0,1	2,61
0,133	2,75
0,167	2,88

Tabela 29 – Leituras do segundo ciclo de carregamento (Acervo pessoal).

Os parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do segundo ciclo de carregamento da prova de carga realizada na área 11-2 estão exibidos na Tabela 30.

a_0	a_1	a_2	Tensão máxima do ensaio (MPa)	Raio da placa (mm)	EV2 (MPa)
1,971	8,5304	- 19,026	0,20	400	127

Tabela 30 – Parâmetros do ajuste polinomial de grau 3 obtidos do segundo ciclo de carregamento da prova de carga executada na área 11-2 (Acervo pessoal).

$$\underline{EV1(MPa) = 127,0}$$

Com os valores de EV1 e EV2 conseguimos obter a relação:

$$\frac{EV2}{EV1} = \frac{127,0}{48,2} = 2,6$$

Tendo os dados do primeiro e do segundo ciclo é possível traçar a curva de tensão – deslocamento (ver fig. 26), onde temos nas ordenadas, os deslocamentos verticais após cada carregamento (média dos resultados dos três defletômetros) e, nas abscissas, as tensões (pressões) transmitidas pela placa.

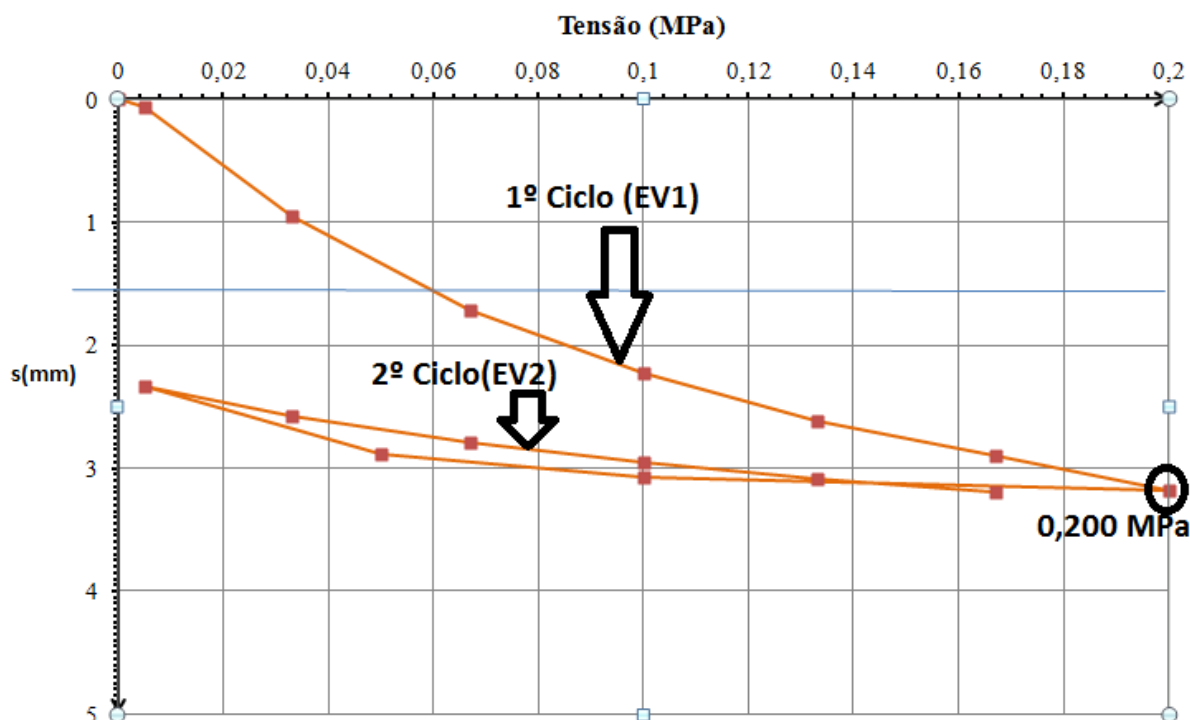


Figura 26 – curva tensão – deslocamento (Acervo Pessoal).

Devido a realização dos ensaios de carga em placa e com os resultados anteriormente citados, foi verificado os módulos de deformabilidade de cada local e consequentemente possível fazer uma análise comparativa entre eles, de modo que se tenha uma visão geral do ensaio sobre todo o empreendimento, os resultados finais e comparações dos ensaios são apresentados na tabela 31.

	EV1 (MPa)	EV2 (MPa)	EV2 / EV1	Smax (mm)
12-1	28,9	89,2	3,1	3,97
12-2	67	107,3	1,6	1,92
12-3	53,6	175,0	3,3	2,28
10-1	39,2	135,4	3,5	3,13
10-2	41,3	118,9	2,9	3,18
11-2	48,2	127,0	2,6	2,88
Média	46,4	125,5	2,8	2,9
Desvio Padrão	13,1	29,1	0,7	0,7

Tabela 31 – Dados finais dos módulos de deformabilidade.

Como observado na tabela 31 as deformações do aterro não saíram da casa dos milímetros como também os valores de EV2/EV1 em media deram acima de 2, sendo EV2/EV1 médio igual a $2,8 \geq 2$, como especifica a norma alemã e a brasileira, indicando que o aterro está bem compactado, seus recalques são quase imperceptíveis pelo empreendimento. Diante dos dados apresentados é visível que o aterro estudado atendeu as especificações impostas pelo projeto.

5 – CONCLUSÕES

Com base nas análises realizadas neste Trabalho de Conclusão de Curso, o autor do presente trabalho considera importante o controle tecnológico rigoroso de aterros, quando a preocupação principal é a deformabilidade. É igualmente importante se realizar o controle da qualidade do aterro compactado não apenas com base na metodologia tradicional, que emprega o peso específico do campo em comparação do de laboratório (método do grau de compactação) e o teor de umidade, mas também métodos que considerem a deformação do maciço, ou seja, o controle baseado em prova de carga cíclica sobre placa, conforme alguns países europeus, a exemplo da Alemanha, adotam. É notório que existe uma relação com o grau de compactação e os módulos de deformabilidade, que pode ser melhor avaliada com o presente estudo, tendo em vista que a presença de resultados satisfatórios para o $GC \geq 100\%$, coincidiu com resultados satisfatórios para a relação entre $EV2/EV1$ dar acima de 2, tendo aí uma possível relação entre tais parâmetros. Entende-se que o presente trabalho cumpriu seu objetivo principal, que foi apresentar uma metodologia alternativa de controle de aterros, a partir da relação entre os módulos $EV1$ e $EV2$, com base em dados reais de um estudo de caso. De modo geral, conclui-se que o aterro analisado respondeu bem quanto à relação estabelecida entre $EV2$ e $EV1$, mas que não se conseguiu encontrar alguma relação entre o grau de compactação e os mencionados parâmetros de deformabilidade, uma vez que para isto seria necessário se construir um aterro experimental, onde se pudessem variar os valores de peso específico e umidade de campo, e se verificasse as alterações nos valores dos módulos de deformabilidade.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, GIL CARVALHO PAULO DE, **Caracterização física e classificação dos solos**, Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de engenharia departamento de transporte, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Resolução 6508/1984. **Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Resolução 7217/1987. **Agregados - Determinação da composição granulométrica.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Resolução 6502/1995. **Rochas e Solos.** Disponível em < <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=4050> > Acesso em 01 de jan. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Resolução 6459/1984. **Solo - Determinação do limite de liquidez.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Resolução 7180/1984. **Solo - Determinação do limite de plasticidade.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Resolução 6508/1984. **Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Resolução 7182:1986. **Ensaio de Compactação.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Resolução 7185:1986. **Solo - Determinação da massa específica aparente, "in situ", com emprego do frasco de areia.**

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT 410/2017. **Solos - Prova de carga estática em placa para controle de qualidade na execução de aterros solo-enrocamento - Método de Ensaio.**

CAVALCANTE, ERINALDO HILÁRIO. **Aspectos de controle tecnológico de aterros com base na deformabilidade**, 5º simpósio de Geotécnica do Nordeste, Maceió Alagoas, 2017.

CAT. Products. Disponível em; < https://www.cat.com/pt_BR/products.html > . Acesso em 09 jan. 2018.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos. Volume I**, Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos S.S., 1975.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 18134. **Soil-Testing Procedures and Testing Equipment – Plate load Test**. DIN. Berlin, 2012.

GEOPROVA. **Ensaio de placa**. Disponível em: < <http://geoprova.com.br/#pce> >. Acesso em 30 jan. 2018.

LIMA, **Amanda**. No Laboratório: Ensaio de Liquidez do solo. Disponível em : < <http://engenhairocaicara.com/no-laboratorio-ensaio-de-liquidez-do-solo/> >. Acesso em 03 de Dezembro. 2017.

LABGEO. **Ensaaios realizados – limite de plasticidade**. Laboratório de geotécnica de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos. Disponível em: < <http://www.labgeo.ufscar.br/ensaaios.php?item=3>>. Acesso em 30 jan. 2018.

MAGALHÃES, FELIPE MOREIRA DE. **Influência dos equipamentos no processo de compactação em solos na cidade de Mossoró**. Mossoró 2012.

NORMA DNIT 410/2017 – ME. **Solos - Prova de carga estática em placa para controle de qualidade na execução de aterros solo-enrocamento - Método de Ensaio**. MAR 2017.

OLIVEIRA, MIRELLY SOUZA PEREIRA DE, **ANÁLISE DO CONTROLE DE COMPACTAÇÃO “IN SITU” NO LOTEAMENTO VILA ANDORINHA/CARUARU-PE**, Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário do Vale do Ipojuca – UNIFAVIP, 2014

PINTO, C. S. **Curso básico de Mecânica dos Solos. 3ª edição**. Editora Oficina de Textos, 2006. São Paulo.

RICARDO, Hélio de Souza; CATALANI, Guilherme. **Manual Prático de Escavação**. Terraplenagem e Escavação de Rocha. 3ªed. Editora PINI. 2007.

SILVA, Leonardo Rodrigues Eiras. “**Compactação do Solo**”. Monografia defendida e aprovada na Universidade São Francisco, 2008.

SOUZA, FELIPE BICHO REZENDE DE **CONTROLE TECNOLÓGICO APLICADO A OBRAS DE TERRAPLENAGEM**/ Felipe Bicho Rezende de Souza. – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2014.